

Application de l'indice Hot-Dry-Windy (HDW) pour la contribution à la prévision des feux de forêts au Nord de l'Algérie

Abed Salah SAHABI^{1*}, Selmane AHMED NOUR EL ISLAM^{1*}, Amina BOUCETTA^{1*}, Brahim Djebbar^{1*}, Mehdi KERROUCHE^{1*}

Abstract

Un nouvel indice de prévision des feux de forêts mis au point récemment par une équipe de chercheurs américains et élaboré sur la base de trois paramètres météorologiques fondamentaux dans le déclenchement et la propagation des feux de forêts à savoir : la température, l'humidité et le vent est testé et validé sur le nord de l'Algérie en saison estivale. Cet indice appelé HDW (Hot-Dry-Windy) faisant l'objet de la présente étude vise à apporter une contribution aux services en charge des forêts dans le pays. A ce titre, des cartes de HDW prévues sont établies avant et pendant des journées où l'on a relevé des incendies de forêt en Algérie pendant l'été de l'année 2017, ce qui a permis d'évaluer sa pertinence dans le monitoring de ce phénomène. Les données prévues des paramètres météorologiques issues du modèle AROME en exploitation et archivées à MétéoAlgérie sont utilisées pour élaborer des cartes de cet indice prévues 24 heures à l'avance au nord de l'Algérie, et ce, au pas de temps tri-horaire. Un système de vigilance météorologique dédié aux feux de forêts conçu sur la base des seuils climatologiques de cet indice est ainsi proposé. Ce système illustre grâce à la prévision à l'échelle quotidienne de l'indice HDW maximal le niveau de vigilance requis.

Keywords

feux de forêt, indice HDW, prévision des feux de forêts. Modèle AROME

¹ Office national de la météorologie (CCN), Dar El Beida, Alger

*Correspondant:salah_sahabi@yahoo.com

Contents

Introduction	1
1 Méthodologie – Données utilisées :	2
2 Résultats :	3
3 Tentative d'élaboration d'une carte de vigilance feux de forêts sur une base météorologique :	7
4 Conclusion	7
References	8

Les feux de forêt sont devenus des événements très dangereux ces dernières années en raison de leur fréquence et de leur répartition spatiale qui ne cessent de s'étendre. L'ampleur importante de ce phénomène engendrant de plus en plus des conséquences dévastatrices, affecte à la fois l'environnement et la sécurité de l'homme. Les feux de forêt ont un lien direct avec le climat et donc, avec les conditions atmosphériques qui sévissent.

En raison des impacts de ce phénomène sur les sociétés et les économies des pays, plusieurs chercheurs ont mis en œuvre plusieurs types d'indices de feux de forêts visant essentiellement sa prévision. On retrouvera cependant dans la littérature, l'Indice Forêt-Météo (FWI) (en anglais Forest Fire Weather Index) utilisé par le service forestier du Canada [1] et établi sur la base des conditions météorologiques propices aux incendies de forêt. Le FWI est fondé sur la teneur en humidité de trois classes de combustibles forestiers en plus de l'effet du vent sur le comportement du feu. Il consiste en six composantes : trois sous-indices primaires représentant l'humidité du combustible; deux sous-indices intermédi-

aires représentant le taux de propagation du feu et la consommation des combustibles et un indice final représentant l'intensité du feu sous forme du taux de rendement d'énergie par unité de longueur. Cet indice se réfère fondamentalement à une forêt standard de pin, mais il sert utilement comme un indice global du danger d'incendies de forêt au Canada. Il est élaboré au moyen des observations journalières des conditions météorologiques de température, d'humidité relative, de vitesse du vent et de pluviosité (si elle existe) relevée à midi. John J. Keetch et al. [2] ont proposé en 1968 un autre indice basé sur la sécheresse pour le contrôle des feux de forêts aux USA. Cet indice est basé sur la teneur en humidité qui est en fonction de la densité de la forêt, la pluie, l'humidité au sol et l'humidité dans le sol.

En Australie, on utilise McArthur Forest Fire Danger Index (FFDI) [3]. Cet indice est également basé entre autres, sur les paramètres météorologiques. Le FFDI est un outil incontournable dans l'évaluation des risques d'incendie en Australie. Il est associé à un intervalle de seuils de classes allant du faible à l'extrême. La formulation du FFDI [4] est basée sur la température maximale de la journée en cours, la vitesse du vent, l'humidité relative et un composant représentant les combustibles disponibles, appelés facteur de sécheresse. L'avancée technologique a permis à beaucoup d'organismes d'établir un système de gestion et d'alerte des feux de forêts basé sur l'imagerie satellitaire. En effet, NASA a mis au point une plateforme dénommée

FIRMS (Fire Information for Resource Management System) qui diffuse les données de feu actif en temps réel dans les 3 heures d'observation par satellite, grâce à la fois au spectro-radiomètre imageur de résolution modérée (MODIS) et le radiomètre imageur infrarouge Visible Suite (VIIRS). L'impact des feux de forêts à l'échelle planétaire a suscité un intérêt important dans le contexte des changements climatiques. Sur ce plan, des relations liant les effets des feux de forêts sur l'intensification des gaz à effet de serre ont été établies. A ce titre, des mesures et une analyse d'un feu de forêt boréale intégrant les effets des gaz à effet de serre, les aérosols, les dépôts de carbone noir sur la neige et la mer de glace et les changements albédo de surface sont effectués après le feu. L'étude a conclu que l'effet net de tous les agents devait augmenter le forçage radiatif et donc contribuer davantage au réchauffement climatique. Dans l'objectif de prévoir et de contrôler ces feux de forêts, une nouvelle étude avait mis en évidence récemment (en 2018) un nouvel indice appelé HDW (Hot, Dry, Windy). Cet indice mis au point par une équipe de chercheurs américains [5] reste très simple à concevoir. Il combine en effet des paramètres purement météorologiques disposant d'un pouvoir important dans l'influence sur le potentiel de l'air au déclenchement de feu : il s'agit de la température, l'humidité et la vitesse du vent.

Le calcul de l'indice HDW au moyen des données prévues deviendra après une bonne maîtrise, un outil d'aide à la décision incontournable puisqu'il permettra de fournir des informations à l'avance sur le jour où les conditions climatiques peuvent déclencher des feux erratiques et donc contribuera au suivi dans la diffusion des alertes. Les conditions atmosphériques régissant cet indice dépendent exclusivement donc de la température, de l'état hygrométrique et du vent. Cependant, l'inclusion d'autres composants comme la topographie ou les combustibles pourra influencer la capacité et la performance de l'indice à prévoir le vrai potentiel de l'atmosphère à déclencher le feu ; c'est ce qui fait de cet indice un indice purement atmosphérique contrairement à beaucoup d'autres indices existants dans la littérature. Durant les dernières décennies, l'Algérie est devenue un des pays de la Méditerranée les plus touchés par les feux de forêt. Plus de 42555 événements de feux ont été observés au nord du pays durant la période 1985-2010 où plus de 910640 hectares ont été ravagés ; ce qui représente l'équivalent de 22% de la surface forestière [6]. Ce taux correspond à une moyenne annuelle de 1637 feux et 35025 ha de surface touchée [7]

Vu la complexité, la dangerosité et l'importance de ce phénomène occurrent, sa prévision a fait l'objet depuis quelques années d'une attention particulière au sein de l'Office National de la Météorologie (ONM). La participation active de l'ONM dans des projets méditerranéens à l'instar de «Climasouth» dirigé par la Direction Générale des Forêts (DGF) a permis d'acquérir des connaissances importantes sur ce sujet. Dans le cadre de la prévention contre

les phénomènes extrêmes pouvant engendrer des feux de forêts, Météo Algérie s'est investi pleinement grâce à la diffusion régulière de l'information à travers son système d'alerte de vigilance sur les journées caniculaires prévues. Les services de la protection civile sont alertés de ces journées considérées très favorables au déclenchement des feux de forêts, ce qui permettra par voie de conséquence à ces derniers de mobiliser les moyens d'intervention nécessaires suffisamment à l'avance. D'autres secteurs clé reçoivent également et régulièrement ces messages d'alerte entre autres, la direction générale des forêts et les réseaux de distribution électrique ou la Sonelgaz, les autorités locales... Plusieurs institutions mondiales spécialisées accordent un intérêt capital à ce phénomène. La figure 1 élaborée par l'Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche (UNITAR) à travers le Programme Opérationnel pour les Applications Satellitaires (UNOSAT), montre la répartition de la densité des feux de forêts durant la saison estivale au nord de l'Algérie durant la période allant du 1er Juin au 23 Août 2012. Cette année illustre parfaitement le degré de danger des feux de forêts en Algérie et met en évidence l'impact important de l'augmentation de la température maximale sur la densité des feux. Ces feux ont pour rappel ravagé des forêts entières dans plusieurs wilayas à l'instar de Tipaza, Médéa, Bouira, Tizi Ouzou etc, qui ont connu durant cette période des températures maximales anormalement élevées.

Notre travail s'inscrit donc dans le cadre de la continuité de la contribution à la gestion des catastrophes relatives aux feux de forêts dans le contexte climatique adopté par l'ONM et initié par le projet « Climatsouth ». L'ONM en intégrant ce projet avait la charge de prédire d'autres types d'indices de forêts dans le contexte du changement climatique grâce à l'application de la méthode de la descente d'échelle sur les scénarios des projections futures du climat.

Dans cette étude, nous nous intéressons sur les feux de forêt dont le contexte purement météorologique où nous essayons d'élaborer et de vérifier la pertinence de l'indice HDW dans la contribution à la prévision des incendies de forêt. Notre travail est subdivisé en deux parties principales :

- La climatologie de l'indice HDW : calculée sur une période de 30 ans dans l'objectif de fixer les seuils d'alerte.
- La prévision de l'indice HDW : basée pour notre cas sur les sorties du modèle de prévision météorologique AROME au-dessus des 3 wilayas avant, pendant et après la date d'incendie de forêts observé dans le passé.

1. Méthodologie – Données utilisées :

Le potentiel d'évaporation de l'atmosphère est représenté par l'humidité et la température. Il est donc indispensable de trouver une relation qui lie à la fois ces deux paramètres,

car ils ne peuvent pas être considérés indépendants, à l'instar du déficit de pression de vapeur « VPD » (en anglais Vapor Pressure Deficit), qui n'est d'autre que la différence entre la pression de vapeur d'eau à une température donnée et la pression de vapeur saturée pour la même température. Le VPD s'avère plus informatif que l'humidité relative, car il représente le degré de sécheresse de l'atmosphère, ce qui constitue un élément important dans le suivi des conditions hygrométriques de l'atmosphère et permettra par conséquent d'estimer la probabilité de déclenchement des feux (Alan F. Srock et al. 2018). La figure suivante explique le choix du VPD par rapport à l'humidité. Le VPD représente en effet, la différence entre la tension de vapeur saturante et la tension de vapeur de l'air atmosphérique. On s'aperçoit d'après la figure 2 que l'on peut avoir la même valeur d'humidité pour deux températures différentes, ce qui n'est pas très informatif dans le cas des feux de forêts.

Les deux points en orange sur la figure 2 ont deux températures différentes : +10°C et +35°C pour la même valeur d'humidité qui est de 20% ; c'est-à-dire que ces points ayant les deux conditions de températures sont équivalents en terme d'humidité. Alors que le degré de sécheresse matérialisé par le VPD montre clairement que celui-ci augmente d'une façon exponentielle avec la température bien que l'humidité relative reste constante. Dans le domaine de la surveillance des feux de forêts, le VPD demeure un indicateur plus intéressant que l'humidité relative dans le sens où il matérialise mieux le degré de sécheresse et donc renseigne au mieux sur les conditions propices et favorables de déclenchement de feu.

Un avantage de cet indice demeure également dans la possibilité de le calculer sur n'importe quel lieu sur terre, et cela, sur une échelle temporelle et spatiale bien définie (échelle synoptique et méso-échelle.).

Calcul de l'Indice HDW :

La prévision des feux consiste en premier lieu à comprendre comment les paramètres météorologiques pouvant engendrer ces feux évoluent dans le temps et peuvent provoquer le déclenchement des incendies. Le principe du calcul de l'indice HDW repose sur ces paramètres météorologiques. L'indice proposé consiste à multiplier le vent par le déficit de pression de vapeur d'eau. Donc, plus le vent est fort et l'atmosphère est sèche, plus la propagation du feu sera rapide et on aura plus de difficultés, par conséquent, à le contrôler.

La formule de calcul est la suivante :

$$HDW = U.VPD \quad (1)$$

Avec : $VPD = es - e$

U : Vitesse maximale du vent (m/s)

es : Tension de vapeur saturante de l'air (hpa)

$$es = 6.112 \exp\left(\frac{17.62T}{243.12 + T}\right) \quad (2)$$

e : Tension de vapeur (hpa)

$$e = \frac{RH.es}{100} \quad (3)$$

T : Température en °C

RH : Humidité relative de l'air (%)

VPD : Déficit de Pression de vapeur

L'unité de l'indice HDW est hpa.m.s-1. Dans la plupart des cas, cet indice est considéré sans unité.

Choix du cas d'étude :

Nous nous sommes intéressés au cas de la journée du 30 Juillet 2017. Durant cette journée, la presse algérienne a fait état de l'ampleur des dégâts provoqués par les incendies enregistrés sur plusieurs wilayas au nord du pays. Les villes sélectionnées dans cette étude sont respectivement El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen. Le choix de ces 3 wilayas est dicté par le fait qu'elles aient connu de graves incendies de forêt en cette journée, en plus de cela, nous envisageons tester l'indice HDW sur des sites ayant des caractéristiques géographiques différentes. Notre travail est basé sur le calcul de l'indice HDW à l'aide des champs de sorties du modèle de prévision AROME tourné à l'ONM ayant une résolution spatiale importante équivalente à 3km. L'ensemble des paramètres météorologiques prévus 24 heures à l'avance au-dessus des trois wilayas citées précédemment ont été récupérés de la base archivée et concernent : la température, l'humidité et les composantes horizontales du vent. Le calcul de l'indice HDW est réalisé au moyen d'un script conçu en code Fortran sur les points de grille de toute la partie Nord de l'Algérie et pour chaque heure. Nous procéderons ensuite à la cartographie de l'indice HDW en s'appuyant sur le logiciel QGIS et Python (figure 3)

2. Résultats :

Sur la figure 4, nous mettons en exergue sur l'évolution temporelle des paramètres météorologiques (température, humidité et vitesse du vent) et l'indice HDW associé prévu par le modèle AROME 1 jour à l'avance au-dessus de la wilaya d'El-Taref (pris comme un exemple d'illustration ici) pour la journée sans feux de forêts du 29 Juillet 2017. Étant donné que l'indice HDW est proportionnel à la vitesse du vent et à la température, ce dernier suit sensiblement la même forme géométrique que les courbes de ces deux paramètres. Cette tendance confirme le rôle de l'augmentation de la température dans le déclenchement du feu et le rôle du vent dans sa propagation. La figure 4 montre clairement également que le HDW est inversement proportionnel à l'humidité, ce qui montre que la sécheresse à travers le déficit hygrométrique atmosphérique est un facteur prépondérant dans la contribution au départ des feux.

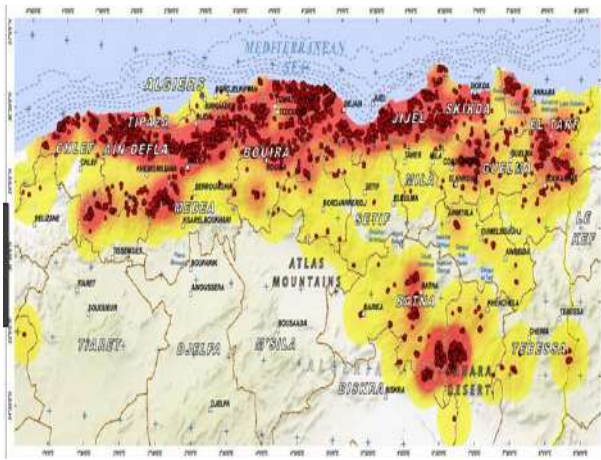


Figure 1. Densité de feux de forêt au nord de l'Algérie entre 1 Juin et 23 Août 2012 (source : UNITAR/UNOSAT)

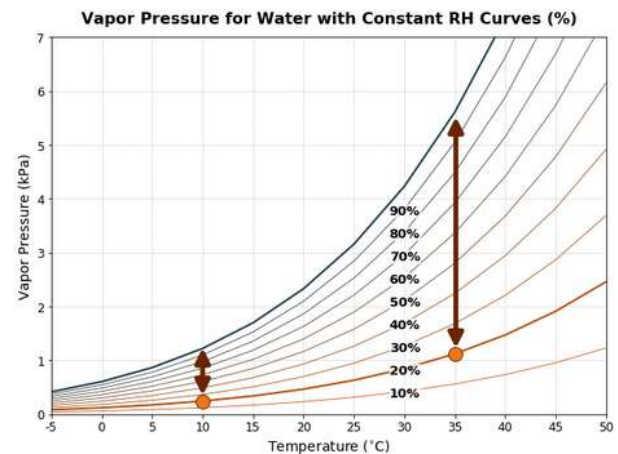


Figure 2. Pression de vapeur d'eau et courbes d'humidité relative associées

Calcul de l'indice HDW Prévu au nord de l'Algérie :

L'efficacité du système d'alerte repose sur la capacité de prévoir suffisamment à l'avance le phénomène dangereux ainsi que son intensité. Comme à l'ONM le modèle AROME permet de prévoir les paramètres météorologiques servant à calculer l'indice HDW, nous nous sommes penchés sur le calcul du HDW prévu 24 heures à l'avance sur la base des prévisions de ces paramètres météorologiques. Ce calcul nous renseignera sur l'évolution temporelle prévue du HDW et donc, sur les probabilités du déclenchement des feux de forêts pendant les 24 heures suivantes, ce qui marque l'efficacité et la force d'un tel système d'alerte précoce. Dans notre cas d'étude, nous nous sommes servis des données prévues des paramètres météorologiques des journées du 29 et 30 Juillet 2017, où nous avons élaboré l'indice HDW maximal en 24 heures prévu sur la base des paramètres météorologiques prévus également. L'établissement des cartes de prévision de l'indice HDW maximal permettra dans le futur de mettre en œuvre un système d'alerte sur les feux de forêts à base météorologique en opérationnel au niveau du centre de prévision de l'ONM (figure 5).

La figure 5 à gauche montre de faibles valeurs de l'indice HDW ne dépassant guère 170. Alors, vers 15H00 le 30 Juillet, l'indice HDW maximal prévu par le modèle met en évidence des valeurs très élevées dépassant les 300. Le seuil pour lequel une valeur de l'indice HDW prévue lui sera attribuée une forte probabilité de déclenchement de feux est traité dans le chapitre suivant.

Elaboration des seuils de l'indice HDW en vue d'établir des cartes de prévision des feux de forêts

a- Détermination de la climatologie de l'indice HDW

Nous utilisons les données de ré-analyses ERA-Intérim, qui sont très utilisées dans le domaine de la recherche et très réputées pour leur qualité. Nous nous servons de ce jeu de données en raison également de leur disponibilité sur une longue période qui servira par conséquent à établir la climatologie de l'indice HDW. Ce type de données est échantillonné chaque 6 heures et disponibles en points de grilles et maillées sur le domaine global. La base ERA-Intérim en provenance du Centre Européen ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) est une base de données actualisée chaque mois. Pour notre cas d'étude, les données suivantes en format netcdf ont été ainsi téléchargées :

- La température à 2m ; la température du point de rosée qui servira au calcul de l'humidité et les deux composantes horizontales du vent (U et V).
- La grille utilisée est de 0.5°x0.5° de résolution spatiale pour le réseau de 12H00 relative aux données des mois de Juin, Juillet, Août et Septembre sur la région nord de l'Algérie. Le réseau de 12H00 est sélectionné arbitrairement, car il est supposé coïncider avec le maximum de température et un minimum d'humidité et par conséquent, il représentera le moment d'un maximum de sévérité atmosphérique favorable au déclenchement des feux.

Un script a été conçu afin de convertir les données originales du format netcdf vers le format ASCII. Puis, on a procédé au calcul de (e), (es), (VPD) et enfin le HDW à 12H00 et pour chaque jour de la saison estivale Juin-Septembre.

Elaboration des seuils de l'indice HDW

La distribution des données du HDW ne suivant pas la loi normale en raison des paramètres atmosphériques : le vent et l'humidité, l'approche des auteurs à l'origine de cet indice

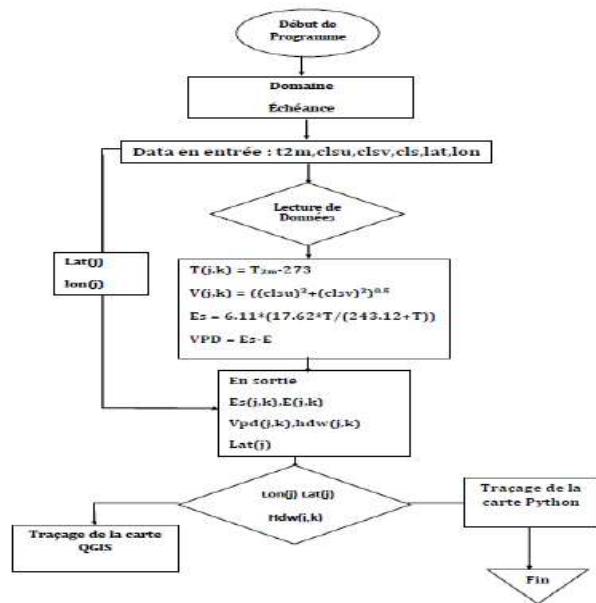


Figure 3. Organigramme conduisant à calculer l'indice HDW

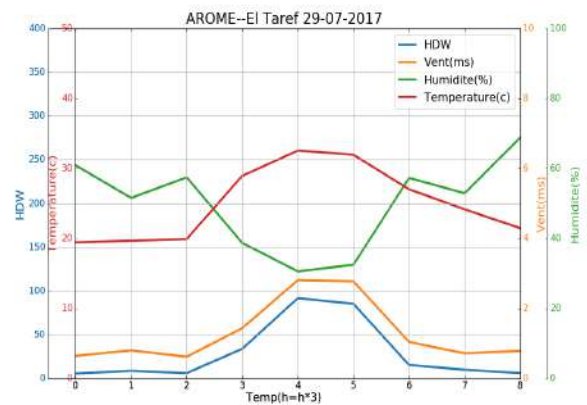


Figure 4. Evolution horaire prévue des paramètres météorologiques et de l'indice HDW durant la journée du 29 Juillet 2017 (journée sans incendie de forêt).

se sont basés sur le calcul des percentiles en vue de décrire la variabilité de l'indice HDW à l'aide de sa climatologie. Pour notre cas, cette climatologie est déduite durant la saison Juin-Septembre et ce, sur une période de 30 ans (1989-2018). Cette méthode servira à la suite de fixer les seuils d'alerte et le niveau de vigilance correspondant. Un niveau très élevé de l'indice HDW (équivalent à un haut percentile) pourra en effet correspondre à une forte probabilité d'un déclenchement d'un feu de forêt. Dans notre cas, il s'avère que les seuils pour lesquels une vigilance s'impose correspondront à des valeurs d'indice HDW supérieures au 75ème percentile déduit de la climatologie. Ce constat est tiré du fait que pour des journées où l'on a enregistré des incendies de forêt, le HDW se situait entre le 75ème et le 95ème percentile (voir les cas d'El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen plus loin). A cet égard, nous élaborons les cartes du 25ème ; 50ème ; 75ème et 95ème percentiles des 3 wilayas choisies pour cette étude afin de classifier le niveau de danger voire de vigilance appropriée. Ces cartes nous permettront par la suite de vérifier la valeur du HDW maximal relatif à une journée d'incendie répertoriée. Les graphiques représentant les percentiles calculés pour les régions de : El-Taref, Tizi Ouzou et Tlemcen, pour les mois de la saison allant de Juin à Septembre sur la période 1989-2018 sont présentés respectivement sur les figures 6, figure 7 et figure 8.

La classification du climat basée sur la méthode de Koppen-Geiger (non présentée ici) montre que les 3 wilayas El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen jouissent d'un climat méditerranéen chaud en été de Classe « Csa ». Les valeurs des percentiles du HDW d'El-Taref et de Tizi-Ouzou demeurent par assez proches en termes d'intensité, par contre Tlemcen met en

évidence des percentiles assez élevés. Le comportement de l'évolution des paramètres : température maximale, humidité, vent et indice HDW pour une journée sans feux de forêts le 29 Juillet 2017 a été illustrée pour le cas de la wilaya d'El-Taref dans la figure 4.

Pour mettre en évidence le comportement de ces paramètres et celui du HDW lors d'une journée d'incendie, nous allons traiter de manière individuelle les cas des 3 wilayas sélectionnées dans cette étude. Pour la wilaya d'El-Taref durant la journée du 30 Juillet 2017 (où l'on a enregistré des incendies de forêts), un HDW de 265 a été prévu vers 15H00 (alors qu'il était de moins de 90 au maximum le 29 Juillet 2017 vers 12H00). A cette valeur de HDW, l'humidité relative a été prévue d'avoisiner 20%, le vent de 4m/s et la température de 40°C (figure 9).

Etude de cas des 3 wilayas

1. Cas de la région d'El-Taref

a. Evolution temporelle de l'indice HDW sur 3 jours :

L'évolution temporelle prévue de l'indice HDW du 29 au 31 Juillet 2017 pour la région d'El-Taref, montre un maximum de HDW relevé le 30 du mois de Juillet 2017 à 15H00 avec une valeur de 265 (figure 10). C'est en cette journée que la DGF avait véritablement enregistré des incendies à El-Taref.

b. Cartographie de l'indice HDW prévu pour la wilaya d'El-Taref :

Nous présentons l'indice HDW calculé sur la base des paramètres météorologiques prévus par le modèle AROME pour la journée du 30 Juillet 2017 au-dessus de toute la région nord de

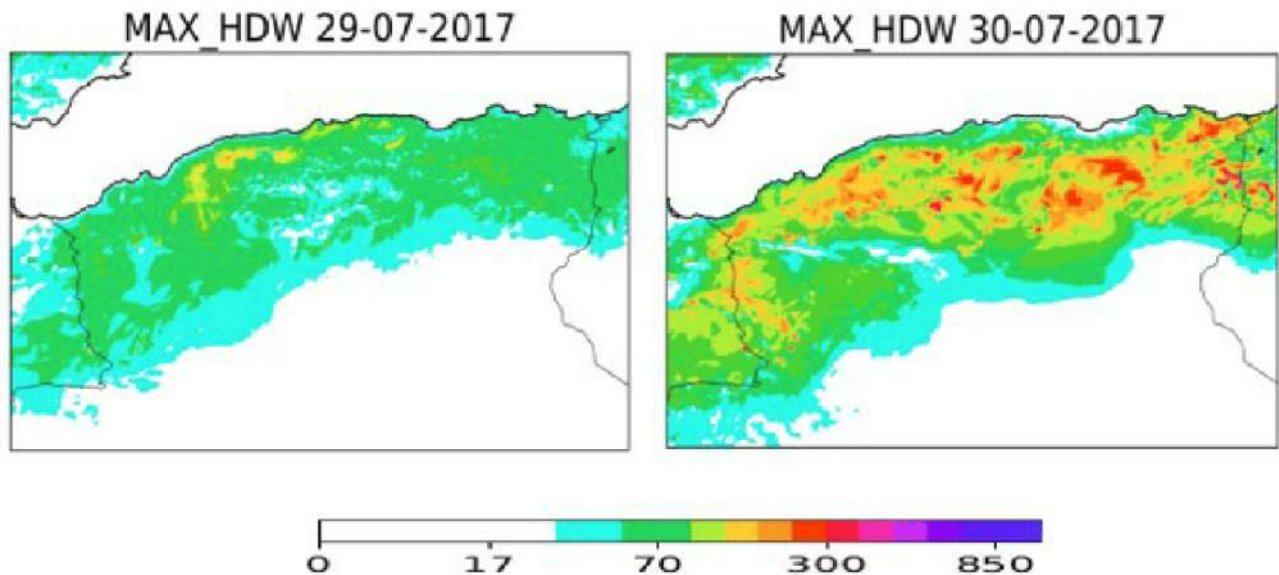


Figure 5. Carte de prévision des feux de forêts pour les 29 (à gauche) et 30 (à droite) Juillet 2017 pour la région nord de l'Algérie.

l'Algérie. L'indice HDW étant calculé sur des points de grille distants donc de 3km, ceci matérialise l'intérêt de l'élaboration d'une carte géographique prévue de l'indice HDW à différents réseaux temporels et étalé sur une large zone permettant d'appréhender les zones à risque potentiel important d'incendies. Nous élaborons sur la base du réseau de 00H00 de la journée du 30 Juillet 2017 des cartes prévues du HDW à 06H00 ; 09H00 ; 12H00, 15H00 et 18H00 (figure 11). L'évolution tri-horaire prévue montre clairement que vers la région d'El-Taref, un maximum de l'indice HDW sera enregistré vers 15H00. La valeur de l'indice HDW devra dépasser 265. Climatologiquement, cette valeur d'après la figure 5 se situe entre le 75ème et le 95ème percentile. Ce qui permet de conclure qu'il y a lieu de surveiller la valeur du HDW pour la région d'El-Taref à compter du 75ème percentile.

Comme nous pouvons constater sur la carte de 15H00 (figure 11) que le risque d'incendie dans d'autres wilayas est très important. Effectivement, des foyers d'incendies ont été observés simultanément dans plusieurs wilayas en cette journée entre autres, les wilayas de Bouira, Batna, Souk-Ahras, Guelma.etc.

2. Cas de la wilaya de Tizi Ouzou :

a. Evolution temporelle de l'indice HDW sur 3 jours :

Le second cas traité dans cette étude est celui de Tizi-Ouzou. Les dates choisies sont celles relatives aux incendies de forêts observés plutôt entre le 09 et 11 Juillet 2017. Le graphe 12 caractérise l'évolution de l'indice HDW déterminé au-dessus de la wilaya de Tizi-Ouzou durant cette période. On constate d'après la figure 12 que le HDW maximal a été observé à 09H00 le 11 Juillet 2017 avec une valeur de 264. D'après la climatologie du HDW de Tizi-Ouzou à cette date (figure 6), cette valeur se situe entre le 75ème et le 95ème

percentile, ce qui va correspondre donc à une forte probabilité d'avoir le feu, puisque les services de la DGF ont enregistré en cette journée des incendies de forêts. Après cette heure, l'indice HDW a légèrement diminué vers 230 à 12H00 puis 180 à 15H00 pour atteindre 60 à 18H00.

b. Cartographie de l'indice HDW prévu pour la wilaya de Tizi-Ouzou :

Les cartes d'évolution tri-horaire prévue de l'indice HDW (figure 13) montrent qu'au-dessus de la région de Tizi-Ouzou et vers 06H00, toutes les valeurs se trouveraient au-dessous de 200, c'est-à-dire au-dessous du seuil du 75ème percentile, ce qui correspond à une situation sans risque potentiel de déclenchement de feux de forêts. Alors qu'un maximum de HDW a été prévu de 264 vers 09H00 au-dessus de cette wilaya. Cette valeur maximale en cette date d'après la figure 6 illustrant sa climatologie en période estivale, montre qu'elle se classe entre le 75ème et le 95ème percentile. La carte de 12H00 quant à elle marque la persistance des valeurs élevées du HDW même en dehors de cette wilaya, au moment où Tizi-Ouzou enregistre des valeurs voisines de 230 c'est-à-dire au-dessus toujours du 75ème percentile. A cet effet, on peut conclure qu'il est nécessaire de surveiller la valeur du HDW pour la région de Tizi-Ouzou à partir du 75ème percentile également.

3. Cas de la wilaya de Tlemcen :

A Tlemcen, des incendies de forêts ont été également relevés le 11 Juillet 2017. Néanmoins, le maximum de l'indice HDW est prévu d'être observé vers 12H00 atteignant la valeur 320. La figure 7 montre que cette valeur se trouve également dans l'intervalle allant du 75ème percentile et le 95ème percentile. Un système d'alerte mis en place devra donc surveiller cet indice à compter du 75ème percentile pour cette wilaya. La figure 14 montre une intensité importante

du HDW est prévue vers 12H00 auquel correspondrait une humidité relative de 08%, une température de +37°C, et une vitesse de vent avoisinant les 6m/s. L'effet combiné de la température et du vent avec un taux faible d'humidité aura fortement contribué au déclenchement du feu.

3. Tentative d'élaboration d'une carte de vigilance feux de forêts sur une base météorologique :

L'objectif escompté dans cette étude étant de mettre en œuvre un système d'alerte précoce, purement météorologique sur le déclenchement des feux de forêts. La prévision de l'indice HDW offrira sans doute la possibilité de cartographier l'évolution prévue de cet indice sur la base de la prévision des paramètres météorologiques. Comme nous avons pu établir des niveaux d'alerte basés sur des percentiles déterminés au moyen de la climatologie calculée sur 30 ans, les indices HDW prévus dans les journées où l'on a recensé des incendies ont pu être par conséquent localisés au sein de ces intervalles (percentiles). Les trois cas d'étude représentant les 3 wilayas et en raison de leur similitude climatique ont tous mis en évidence des indices de HDW maximums prévus situés entre le 75ème et le 95ème percentile. De ce fait, nous avons jugé que l'on peut classer le risque de déclenchement des feux de forêts (niveau de vigilance dont il faut faire preuve) en fonction de ces niveaux de percentiles. A ce titre, la classe 0-25ème percentile matérialisera une situation de non-risque total de feux de forêts, et une couleur verte lui sera attribuée (couleur du niveau de vigilance équivalent au niveau 0). Celle entre le 25e et 75e percentile est considérée comme le 1er niveau de vigilance de couleur jaune où nous devons par conséquent être attentif. Entre le 50ème et le 75ème percentile, le niveau lui est attribué une couleur orange ; il s'agit du niveau 2 et il est demandé donc d'être vigilant. Une vigilance absolue s'imposera dès que l'indice HDW prévu ait dépasser le 75ème percentile correspondant au niveau 3, tel qu'il a été démontré dans les 3 wilayas sélectionnées par cette étude et qui ont toutes enregistré des incendies au moment où leurs indices HDW maximums prévus se situaient entre le 75ème et le 95ème percentile.

Dans notre cas, et dans le but de proposer une carte de vigilance météorologique relative aux feux de forêts au nord de l'Algérie, nous avons calculé le HDW maximal prévu pour la journée du 30 Juillet 2017 qui a connu le déclenchement des foyers d'incendie de forêt sur la majeure partie nord du pays. Ces indices HDW maximums sont calculés dans le domaine couvrant chaque wilaya (points de grille du champ de HDW prévu sur la base des données prédites par AROME). Les seuils servant à établir les niveaux de vigilance et les couleurs à attribuer sont ceux basés sur les percentiles indiqués précédemment. A titre d'illustration, nous avons calculé les seuils percentiles de quelques wilayas pour en servir d'autres avoisinantes portant les mêmes caractéristiques

climatiques (basé sur la classification de Koppen- Geiger) et de manière arbitraire dans l'attribution du niveau requis en attendant d'établir la climatologie de l'indice HDW sur les 30 années pour chaque wilaya individuellement. Cette carte de vigilance relative à la journée du 30 Juillet 2017 est présentée dans la figure 16.

CARTE DE VIGILANCE
DES FEUX DE FORETS
Journée du: 30-07-2017

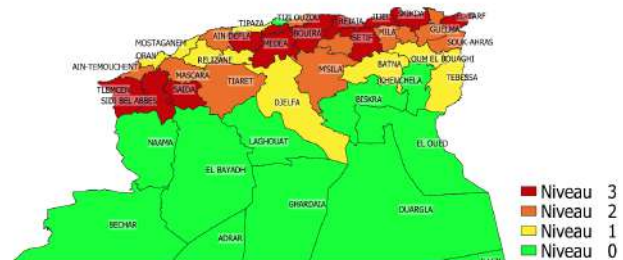


Figure 16. Tentative de carte de vigilance des feux de forêts établie sur la base météorologique (indice HDW) relative à la journée du 30 Juillet 2017.

D'après le principe de cette approche, la journée du 30 Juillet 2017 aurait placé plusieurs wilayas au nord du pays en vigilance rouge et un bon nombre d'entre elles en vigilance orange, et ce, 24 heures à l'avance. Les wilayas pour lesquelles le niveau de vigilance était le plus élevé (niveau 3) ont toutes connu des incendies de forêt durant cette journée. Il restera donc à restituer des cartes de vigilance météorologiques feux de forêts sur d'autres cas de journées d'incendies pour s'assurer définitivement de l'efficacité de ce système d'alerte.

4. Conclusion

Dans cette étude, nous nous sommes servis de l'expérience récente d'une équipe de chercheurs américains ayant élaboré un indice de feux de forêts appelé HDW et basé exclusivement sur des paramètres météorologiques. L'approche dans la conception de cet indice constitue un nouveau concept dans la contribution à la prévention des feux de forêts pour l'Algérie et pourra par conséquent servir d'outil d'aide de décision et de vigilance contre les feux. L'indice HDW prévu a été calculé et cartographié sur la partie nord de l'Algérie pendant la période des incendies de forêt enregistrés en Algérie en mois de Juillet 2017 avec des intervalles tri-horaires. Dans cette étude, nous avons testé la pertinence et la robustesse de l'indice HDW sur des cas réels. A cet effet, nous avons sélectionné 3 wilayas (El-Taref, Tizi-Ouzou et Tlemcen) qui ont connu en Juillet 2017 des incendies de forêts importants. La prévision des paramètres météorologiques per-

mettant de calculer l'indice HDW prévu est issue du modèle AROME ayant la meilleure résolution spatiale actuellement opérationnel à MétéoAlgérie (3Km). L'évolution tri-horaire de cet indice avant, pendant et après la journée où un incendie a été réellement observé montre une forte corrélation entre l'intensité de l'indice HDW et ce phénomène. A cet égard, nous avons noté que pour chaque jour auquel on a relevé un départ de feux, il lui correspondait une valeur très élevée de l'indice HDW. L'étude a mis en exergue les valeurs percentiles basées sur la climatologie de l'indice HDW établie sur une période de 30 ans et calculées durant la saison des feux de forêts qui s'étale du mois de Juin jusqu'à Septembre (saison propice au départ des feux). Le calcul des percentiles climatologiques a montré que lors d'une journée d'incendie de forêt, la valeur du HDW dépassait en cette date le 75ème percentile climatologique de la wilaya concernée. Ceci a donc permis d'établir des seuils pour lesquels nous avons proposé des niveaux de vigilance appropriés. Par conséquent, la prévision quotidienne des paramètres météorologiques à travers le modèle AROME pourra servir à prévoir l'indice HDW et donc, contribuer à concevoir un système d'alerte précoce ou de vigilance sur les incendies de forêts. Pour illustrer la faisabilité de mise en œuvre d'une telle carte de vigilance, nous avons sélectionné la journée du 30 Juillet 2017 pour les wilayas d'El-Taref et Tizi-Ouzou et la journée du 11 Juillet 2017 pour Tlemcen pour le calcul l'indice HDW maximal. Le niveau de vigilance et la couleur appropriée ont été basés sur des seuils relatifs aux percentiles. L'étape suivante consistera alors à achever le calcul de la climatologie de cet indice pour toutes les wilayas au nord de l'Algérie sur la période 1989-2018 pour en déduire des niveaux de vigilance appropriés. Une phase d'expérimentation de l'évaluation de la performance de ce système d'alerte pendant la saison d'été est plus qu'indispensable avant de le mettre en mode opérationnel.

Un autre volet non-négligeable reste à réaliser ; il s'agit d'évaluer de manière objective cette approche et la capacité de cet indice à prévoir correctement les départs de feux, car il y a lieu de prendre en compte les erreurs ou les biais des valeurs des paramètres météorologiques prévues par le modèle AROME et qui à leur tour risquent d'affecter le niveau de vigilance attendu. Le système devra permettre au prévisionniste d'apporter les modifications/corrections nécessaires de ces paramètres météorologiques avant la validation de ladite carte de vigilance.

Comme, il restera à restituer les indices HDW pour les journées où l'on a enregistré des incendies de forêts au nord du pays dans le passé pour évaluer définitivement la capacité de cet indice à prévoir les feux de forêts et évaluer en conséquence la pertinence de cette approche. Enfin, les précipitations peuvent affecter de manière non-négligeable le couvert végétal et elles pourraient donc défavoriser le départ des feux malgré que les conditions atmosphériques prévoient un indice HDW élevé. A ce titre, il demeure indispensable d'étudier le comportement de cet indice pour un jour donné par rapport aux précipitations cumulées durant les 3, 2 ou 1 jour avant.

References

- [1] Charles Edward Van Wagner et al. *Structure of the Canadian forest fire weather index*, volume 1333. Citeseer, 1974.
- [2] John J Keetch and George M Byram. A drought index for forest fire control. *Res. Pap. SE-38. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 35 p.*, 38, 1968.
- [3] Andrew J Dowdy, Graham A Mills, Klara Finkele, and William de Groot. Index sensitivity analysis applied to the canadian forest fire weather index and the mcarthur forest fire danger index. *Meteorological Applications*, 17(3):298–312, 2010.
- [4] I. R. Noble, A. M. Gill, and G. a. V. Bary. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, 5(2):201–203.
- [5] Jessica M. McDonald, Alan F. Srock, and Joseph J. Charney. Development and Application of a Hot-Dry-Windy Index (HDW) Climatology. *Atmosphere*, 9(7):285, 2018.
- [6] Ouahiba Meddour-Sahar and Christine Bouisset. Les grands incendies de forêt en Algérie : problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques. *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography*, (121):33–40, 2013.
- [7] Ouahiba Meddour-Sahar and Arezki Derridj. Forest fires in Algeria: Space-time and cartographic risk analysis (1985-2012). *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 23(2):133–141, 2012.

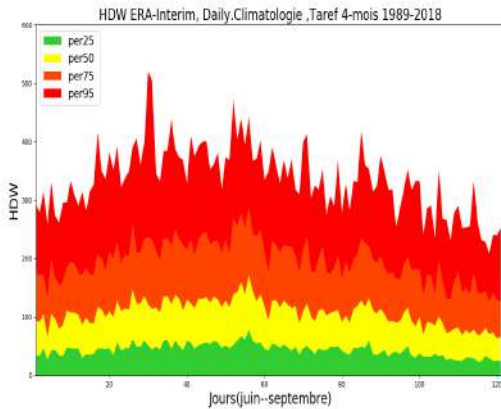


Figure 6. Percentiles climatologiques (25ème ;50ème ; 75ème et 95ème) de l'indice HDW quotidien calculés pour la région d'El Taref (36.6N, 8.3 E) sur la période 1989-2018 pour les mois Juin, Juillet, Août et Septembre

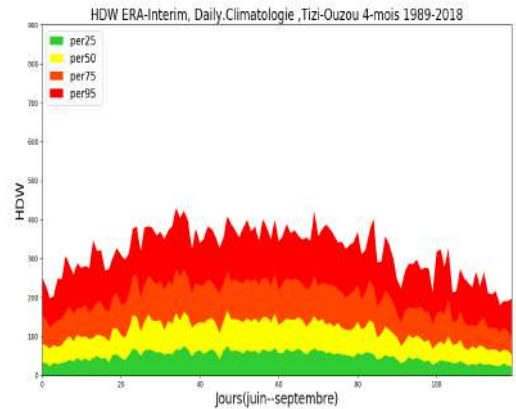


Figure 7. Percentiles climatologiques (25ème ; 50ème ; 75ème et 95ème) du HDW calculés pour Tizi-Ouzou (36.6N, 3.8 E) sur la période 1989-2018 pour les mois Juin, Juillet, Août et Septembre.

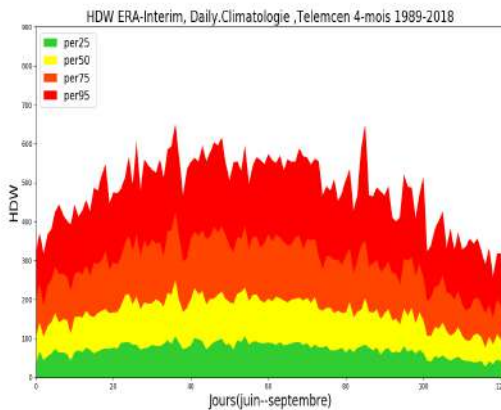


Figure 8. Percentiles climatologiques (25ème ; 50ème ; 75ème et 95ème) du HDW calculés pour Tlemcen (34.7N, 1.19 W) sur la période 1989-2018 pour les mois Juin, Juillet, Août et Septembre.

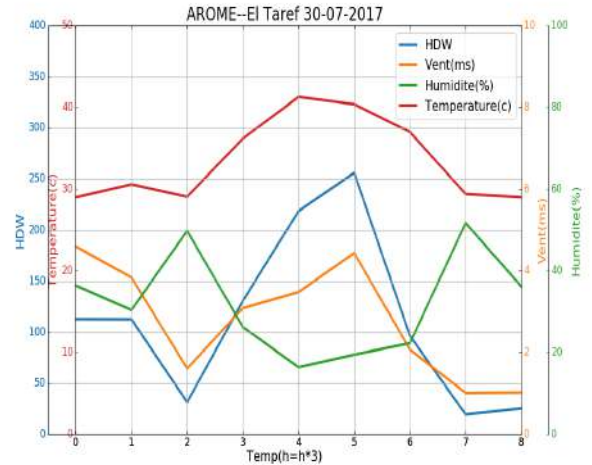


Figure 9. Evolution des paramètres météorologiques et de l'indice HDW prévus le 30 Juillet 2017 (journée avec incendies de forêts) au-dessus d'El-Taref

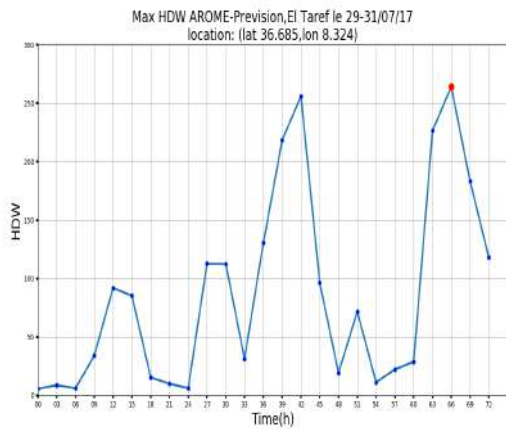


Figure 10. l'évolution de HDW sur la wilaya d'El-Taref durant les trois jours du 29 au 31 Juillet 2017.

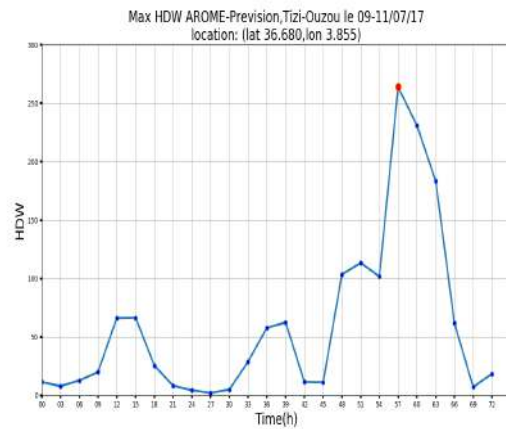


Figure 12. Evolution de l'indice HDW sur la wilaya de Tizi-Ouzou durant les trois jours du 09 au 11 Juillet 2017

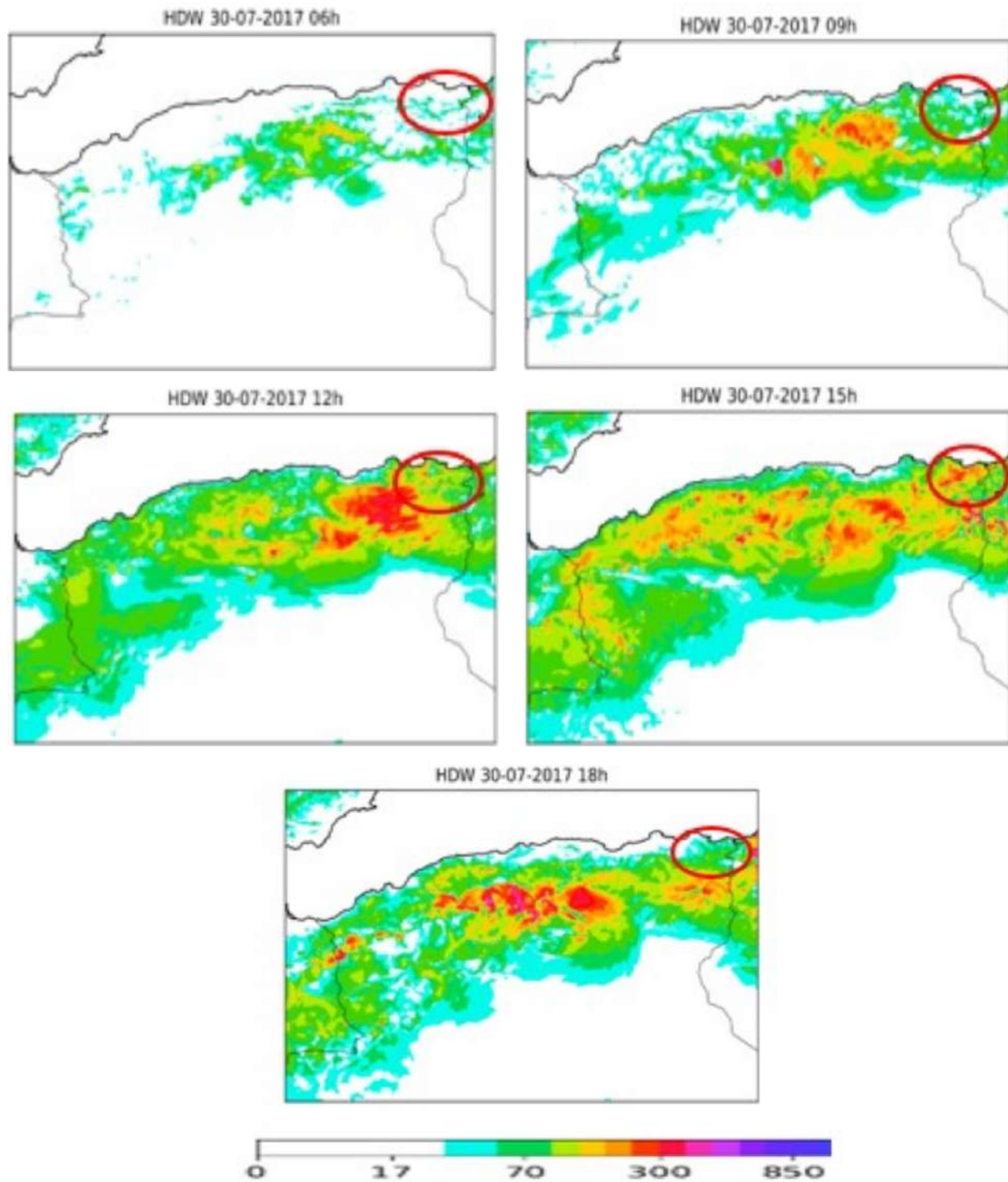


Figure 11. carte de l'indice HDW prévu pour la wilaya d'El-Taref le 30 Juillet 2017 à 06H00 ; 09H00 ; 12H00 ; 15H00 et 18H00.

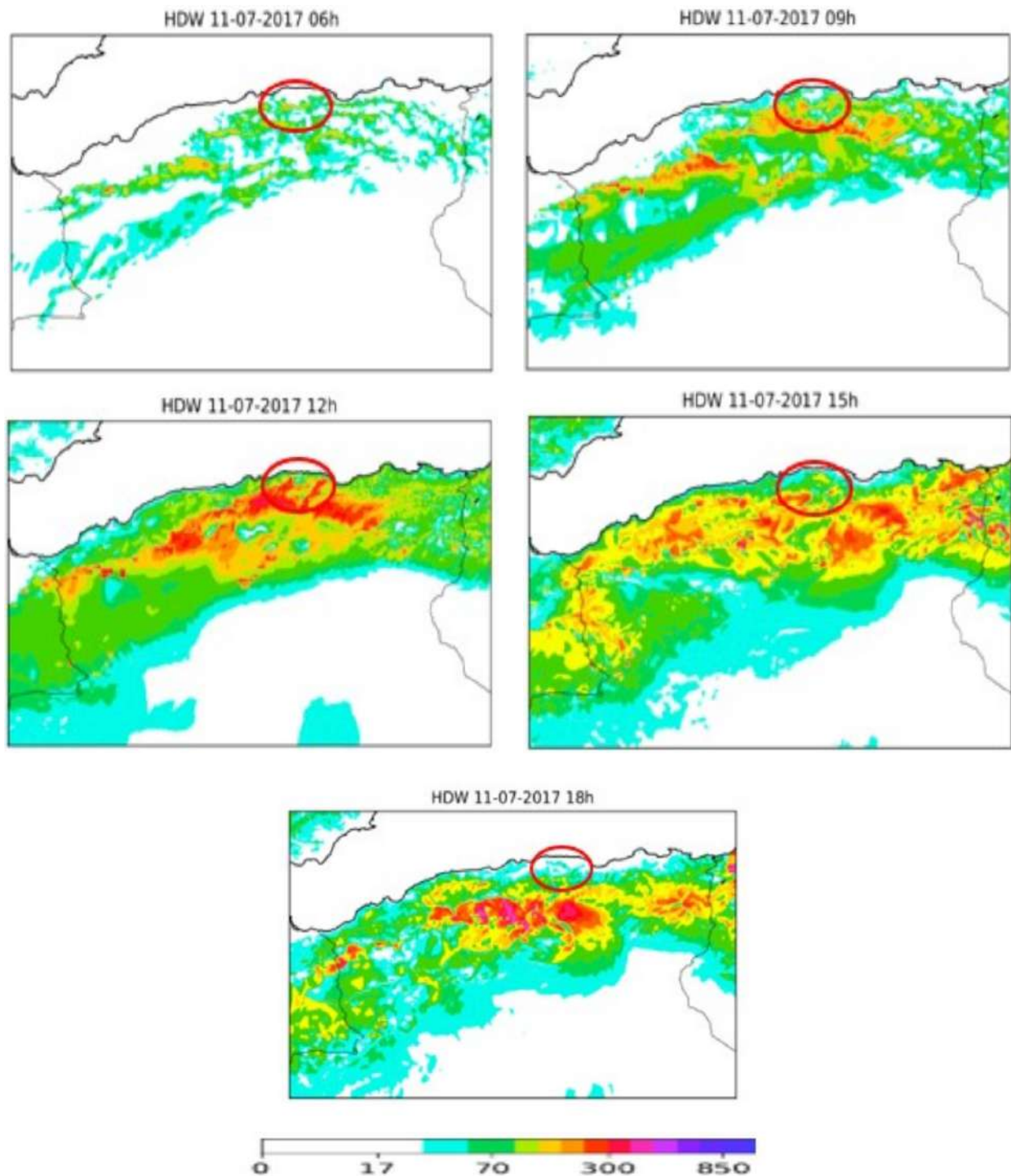


Figure 13. Cartes tri-horaires de l'indice HDW prévu pour la wilaya de Tizi-Ouzou le 11 Juillet 2017 à 06H00 ; 09H00 ; 12H00 ; 15H00 et 18H00.

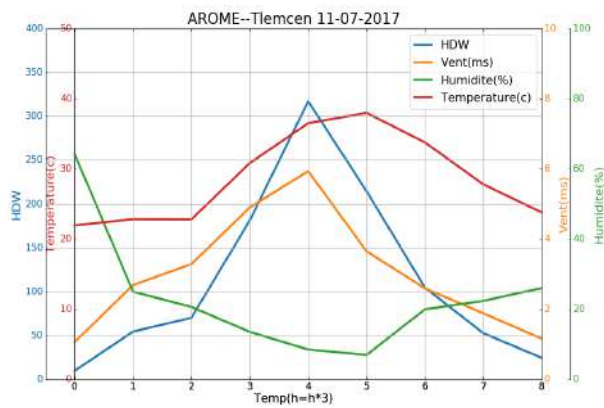


Figure 14. Evolution des paramètres météorologiques et de l'indice HDW prévus le 11 Juillet 2017 (journée avec incendie de forêt) au-dessus de Tlemcen

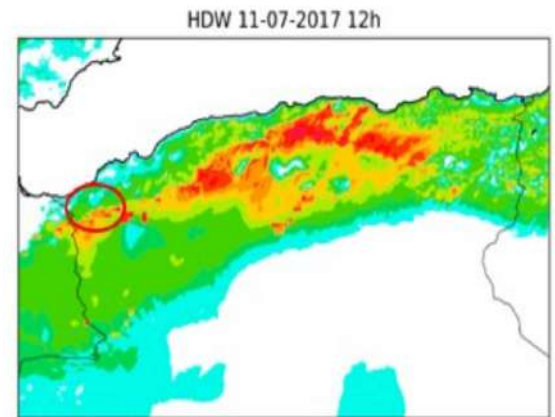


Figure 15. Carte de l'indice HDW prévu pour la wilaya de Tlemcen le 11 Juillet 2017 à 12H00.